



LÓGICA DIFUSA Y SELECCIÓN DE MATERIALES

SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE PRODUCTOS.

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Diseño Industrial presenta:

M.I. Medardo Ramsés Chávez Carrillo

Maestría en Diseño Industrial

Posgrado en Diseño Industrial

Universidad Nacional Autónoma de México

México, D.F., 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DIRECTOR DE TESIS:

M.D.I. Alejandro Rodea Chávez

SINODALES:

Dr. Julio Frías Peña

M.D.I. Brenda García Parra

M.D.I. Guillermo Gazano Izquierdo

M.D. Arturo Martínez Palacios

Dedicatoria

Para:

Alma, por todo su cariño, apoyo y comprensión.

Pao y Tato, esperando guiar sus futuros pasos.

Agradecimientos

Quiero agradecer a la Secretaría de la Defensa Nacional por el apoyo económico y facilidades proporcionadas para la realización de este trabajo.

Asimismo, agradezco a todos los que contribuyeron al logro del presente proyecto: al personal integrante del Posgrado en Diseño Industrial de la UNAM por su apoyo en todo el trayecto de la maestría y en particular al Maestro Alejandro Rodea Chávez por su guía constante.

De igual forma, gracias al comité tutorial por su apoyo e interés en mostrarme las alternativas que contribuyeron a la conclusión de este trabajo.

Por último, pero no menos importantes, gracias a mis amigos y compañeros, que me brindaron su apoyo durante este recorrido.

Contenido

Introducción.

Capítulo 1.

Diseño y materiales	1
1.1 Problema	2
1.2 Justificación	4

Capítulo 2.

Revisión de literatura y marco de referencia	5
2.1 El diseño	6
2.2 Características de las actividades del diseñador industrial	7
2.3 Importancia de la selección de materiales en el diseño	8
2.4 Métodos de selección de materiales en el diseño	9
2.4 Tendencias y retos futuros en la selección de materiales en el diseño	12
2.6 Características a considerar en los materiales durante el diseño de un producto	15

Capítulo 3.

La selección de materiales y la lógica difusa	17
3.1 Lógica Difusa	18
3.2 Empleo de la Lógica Difusa para la selección de materiales	19

Capítulo 4.

Estudio	21
4.1 Propósito	22
4.2 Implementación del algoritmo de la lógica difusa para la selección de materiales	22
4.3 Requerimientos	25
4.4 Método de evaluación	26

Capítulo 5.	
Resultados	27
5.1 Primer caso.....	28
5.2 Segundo caso.....	33
Conclusiones	37
Anexos	40
Anexo 1. Criterios involucrados en la selección de materiales para el diseño de productos.....	40
Anexo 2. Conjuntos difusos y niveles de pertenencia.....	42
Anexo 3. Características de la lógica difusa que permiten su aplicación en la selección de materiales para el diseño de productos.....	47
Anexo 4. Desarrollo de la herramienta de lógica difusa, basada en software, para la selección de materiales en el diseño de productos.....	49
Anexo 5. <i>Briefs</i> de diseño, para registrar el empleo de la lógica difusa, como apoyo para la selección de materiales en el diseño de productos.....	55
Referencias	57

Introducción

En esta tesis se desarrolló una herramienta para apoyar la selección de materiales, empleando como fundamento la lógica difusa, con lo que se facilita manejar la incertidumbre de la información disponible sobre diversos materiales, asociando su desempeño esperado a sus propiedades físicas y al proceso de transformación, a la vez que puede adaptarse a diversos escenarios generados por la subjetividad inherente al diseñador durante el ejercicio de su profesión.

A partir de la información obtenida para aceros y plásticos, se desarrolló un software mediante el cual los usuarios pudieron manipular de forma virtual y en tiempo real las características físicas, de composición química y variables de proceso, para observar la evolución de las propiedades finales. Esta herramienta ofrece al diseñador una visión global de dichas relaciones y facilitar la selección de diversas alternativas posibles.

Se concluyó que un software en el que se emplea la Lógica Difusa permite plantear relaciones característica-función durante la selección de materiales para el diseño de productos, así como comparar materiales alternativos, considerar simultáneamente características cualitativas y cuantitativas, agilizar la toma de decisiones en la definición material-forma, emplear un lenguaje común diseñador-fabricante, reducir la necesidad de relaciones matemáticas para implementar conceptos complejos, cubrir necesidades para proyectos de diversa naturaleza e impulsar al diseñador a emplear procesos iterativos de optimización; a la vez que puede emplearse sin un conocimiento profundo del diseñador en el manejo de dicho software ni en información sobre los materiales a comparar.

Finalmente este trabajo permitió explorar el enorme potencial de Lógica Difusa para integrar el conocimiento de diversas fuentes, no solo de materiales, casi de cualquier tipo de información de sistemas técnicos y sociales, camino que podrá seguir siendo explorado en el ámbito del Diseño.

“El mayor desafío para un pensador es formular el problema de manera que permita una solución”
Bertrand Russell

Capítulo

1. Diseño y materiales

1.1. *Problema*

La sociedad industrializada del siglo XXI se caracteriza por usar intensivamente gran cantidad y diversidad de materiales, que de seguir las tendencias actuales, en los siguientes 15 años, su consumo podría igualar a todos los materiales usados a través de la historia del hombre hasta hoy (Karana, 2008), lo que plantea un escenario futuro de escasos recursos.

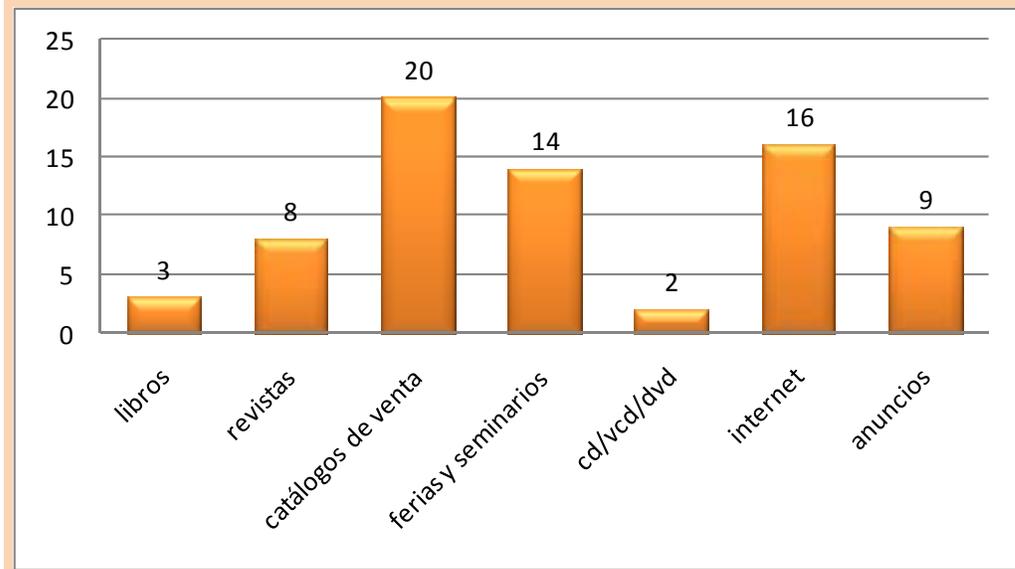
La gente interactúa con los materiales, en su mayoría, a través de los productos y dicha interacción involucra principalmente los siguientes atributos (Ashby y Kara, 2002):

- Propiedades técnicas que cubran requerimientos funcionales.
- Propiedades sensoriales para satisfacer los sentidos del usuario.

A pesar de la vasta bibliografía disponible respecto al diseño de nuevos productos y rediseño de los ya existentes, aún permanece escasamente explorada la aplicación de herramientas y métodos para la selección de materiales en el Diseño Industrial (Jee y Kang, 2000).

Específicamente, se carece de información respecto a la eficiencia en el empleo de dichas herramientas por parte del diseñador o equipo de diseño en la concepción de nuevos productos o en el rediseño de objetos existentes.

Estudios, como el realizado por Karana, Hekkert y Kandachar en la Facultad de Ingeniería de Diseño Industrial de la Universidad Tecnológica de Delft, muestra la información plasmada en la gráfica 1, sobre el tipo de fuentes empleadas por diseñadores para la selección de materiales, se puede observar que la principal fuente de información son los proveedores (Karana et al., 2008).



Gráfica 1. Tipo de fuentes de información empleadas por diseñadores durante la selección de materiales.

Otro punto importante a considerar es que en fechas recientes, muchos de los materiales que habían sido usados en la industria, han sido reemplazados por nuevos materiales, principalmente para reducir costos y mejorar el desempeño, lo que plantea un incremento en las posibilidades que debe enfrentar el diseñador al seleccionar un nuevo material o reemplazar uno ya existente, quien generalmente lo hace por prueba y error o con base en experimentación previa. Esta postura se comprende ante la diversidad de opciones, pues se estima que comercialmente se disponen de entre 40,000 y 80,000 materiales y por lo menos 1,000 diferentes maneras de procesarlos (Shaninan y Savadogo, 2006).

Esta gran cantidad de información disponible y las infinitas posibilidades de combinaciones para su aplicación incrementa la dificultad para hacer afirmaciones precisas y definidas (Sivanandam et al., 2007), lo que involucra un grado de incertidumbre¹ en la naturaleza de la actividad de seleccionar materiales para el Diseño, por lo que **para incrementar la efectividad de las decisiones tomadas por los diseñadores esta incertidumbre requiere ser minimizada.**

¹ Debe considerarse que los factores de incertidumbre dependen en gran medida de la forma en que se enfoca e investiga un tema (Büyükoçkan y Feyzioğlu, 2004).

1.2. *Justificación*

Ante la necesidad de disponer de diversa información para el diseño de productos, entre la que se encuentra la relativa a los materiales, se han empleado algunos métodos como los que se enlistan a continuación (Büyükozkan y Feyzioglu, 2004):

- **Modelos probabilísticos**, que incluyen simulaciones de Montecarlo y árboles de decisión, donde se estima la ocurrencia de un evento de acuerdo a la probabilidad estadística de que sucedan.
- **Teoría de opciones de costo**, con origen en problemas financieros, en la cual se considera cada decisión como una inversión a futuro.
- **Modelos de calificación y listas de verificación**, en los que se evalúan diversas características cualitativas.
- **Enfoque conductuales**, herramientas para facilitar a los administradores a lograr un consenso sobre los proyectos.
- **Proceso de jerarquía analítica**, herramientas de decisión que se basan en comparaciones por pares proyectos y sus criterios respectivos.
- **Lógica difusa**, que se ocupa de problemas en los cuales se involucra la vaguedad en las definiciones y características.
- **Análisis de sensibilidad**, en los cuales se examina cómo los objetivos se ven afectados por los parámetros considerados importantes.
- **Análisis de escenarios**, se asumen diversas combinaciones de valores en los parámetros, con respecto a los diferentes puntos de vista.

Como se puede observar, existe la constante necesidad de contar con herramientas para manipular información, cuyos resultados sirvan de base para tomar decisiones en situaciones donde puede existir incertidumbre en menor o mayor grado, a fin de incrementar la eficacia de dichas decisiones.

Por lo anterior, en este trabajo se pretende explorar la factibilidad de emplear la lógica difusa para desarrollar herramientas que permitan a los diseñadores manipular la información cualitativa de los materiales, para estimar las propiedades finales que brindará a un producto.

*“Nadie ve lo que no conoce”
Refrán alemán*

Capítulo

2. Revisión de literatura y marco de referencia

2.1. *El diseño*

Si bien el Diseño pretende cambiar una situación existente hacia una preferible (Simon, 1996), esta mutación de estados² se ve motivada por un interés social, pues como propone Buchanan (Buchanan, 2001):

Diseñar es el poder humano de concebir, planear y hacer productos que sirven a los seres humanos para alcanzar sus intereses individuales y colectivos.

Y a su vez ésta es una actividad innata del ser humano que involucra la asimilación de información disponible para que mediante su manipulación sea posible plantear y realizar objetos, procesos y sistemas (Heskett, 2001).

La dificultad para definir al propio Diseño que, como comenta Buchanan, a pesar de los esfuerzos por descubrir los fundamentos del Pensamiento para Diseño en las artes, ciencias naturales y más recientemente, las ciencias sociales, el diseño elude su reducción y mantiene una actividad sorprendentemente flexible (Buchanan, 1992), pero aunque el mismo Buchanan reconoce en esta última cualidad una fortaleza del Diseño, también considera útiles las definiciones como guías que estructuran las investigaciones en este campo (Buchanan, 2001).

Precisamente, estas guías que menciona Buchanan permite plantear la posibilidad de establecer rutas preferibles con el fin de maximizar la posibilidad de alcanzar el objetivo predefinido³, lo que podría lograrse al contar con eje rector que ayude a guiar las intenciones de Diseño.

Pero esta estructura debería ser marcada por el problema y no a la inversa, pues una idea preconcebida, demasiado rígida, pondrá al problema en una camisa de fuerza, que impedirá ver la multiplicidad de facetas que conforman un problema de diseño (Rodríguez, 1989)

Estas múltiples facetas nos permite comprender de manera congruente por qué el diseño, como trabajo productivo y creativo, se mueve entre

² En este contexto se define como “estado” al conjunto de circunstancias que concurren en un asunto relacionado con los sistemas técnicos y/o sociales.

³ Se considera que el objetivo establecido al inicio de un proyecto de diseño, puede evolucionar durante el proceso de búsqueda, creación y evaluación de su solución.

ordenamientos técnicos y formales, así como entre las ciencias sociales como la economía, sociología, política e inclusive psicología, entre otras (Irigoyen, 1998).

Aún más allá, podemos considerar la visión y planteamiento de escenarios futuros, como aprecia Heskett al afirmar que “El diseño, despojado hasta su esencia, puede definirse como la capacidad humana para dar formas y sin precedentes en la naturaleza a nuestro entorno”, precisamente esta necesidad de tratar de vislumbrar estados aún inexistentes, plantea a aquellos que se dedican profesionalmente al Diseño, la necesidad de un pensamiento innovador⁴ (Suri, 2008).

2.2. Características de las actividades del diseñador industrial

Ante la dificultad de definir concretamente al diseño, resulta de gran ayuda, para comprender sus facetas esenciales, enlistar las actividades que realiza el diseñador y resaltar sus características (Morales, 1989):

1. Configura la forma de los productos.
2. Estos productos satisfacen necesidades.
3. Satisfacen (los productos) esas necesidades por medio de cierta función.
4. Para configurar las formas funcionales que satisfacen necesidades, existen métodos, que guían al diseñador.

A la vez que los diseñadores o equipos de diseño deben: (Alcaide et al., 2004)

1. Hacer frente a problemas de mayor o menor complejidad.
2. Disponer de los instrumentos necesarios.

⁴ En el contexto de este párrafo, el término “pensamiento innovador” se interpreta como una creatividad productiva, en otros términos se puede describir como un proceso social inherente a la práctica del Diseño (Svihla, 2010).

3. El empleo de algunos de estos instrumentos requieren de gente de otras disciplinas específicas.
4. Documentarse acerca del producto, características, productos similares en el mercado, competencia, tipo de consumidor, legislación, etc.

De las consideraciones anteriores, sobresale la gran cantidad de decisiones que deben realizar los diseñadores (Heskett, 2002), lo que les plantea una gran complejidad, puesto que se ven involucrados dentro de las áreas tecnológicas, sociales y económicas.

2.3. Importancia de la selección de materiales en el diseño

Los productos⁵ deben cubrir tanto los requerimientos funcionales como sensoriales para el uso que fueron concebidos, cuya correcta selección es responsabilidad de su diseñador, quien debe considerar tanto sus propiedades técnicas como sus características sensoriales, para el correcto desempeño⁶ de dichos productos (Karana et al., 2008), (Athanasopoulos et. al, 2009), aunque generalmente son evaluados por los atributos de su estructura física, lo que propicia que comúnmente sean contemplados después de que se ha definido dicha estructura en el diseño (Deng y Edwards, 2007); esto se debe a que la **selección de materiales no puede basarse** únicamente en sus **propiedades intrínsecas**, sino también en su desempeño e interacción con otros elementos, en una determinada situación (Jee y Kang, 2000).

Dicha interacción puede contemplarse desde un punto de vista más general del proceso de diseño, lo que involucra la toma de decisiones considerando

⁵ En esta tesis se consideran como productos, únicamente a las cosas materiales por lo que no se contemplan desarrollos como el software o páginas de internet.

⁶ En este contexto, se propone como forma de definir el correcto desempeño del producto, la aproximación de sus características finales hacia las definidas por el diseñador.

todo el ciclo de vida del producto⁷, incluyendo el impacto ambiental desde su fabricación hasta su disposición final (Deng y Edwards, 2007).

También es importante tener en cuenta que la factibilidad de cada proyecto de diseño, depende en gran manera de la disponibilidad de materias primas de la calidad adecuada (Petroski, 1996), además de otros factores del proceso productivo, como la infraestructura disponible, personal y su capacitación, procesos, entre otros.

2.4. Métodos de selección de materiales en el diseño

La selección de los materiales⁸ es esencial para el diseño de producto⁹, tan importante como cualquier criterio que normalmente estaría involucrado para proyectar y llevar un producto hasta el mercado (Lefteri, 2009).

Pero esta labor de selección involucra decisiones complejas, pues más allá de los materiales básicos como: madera, metal y plástico, existe un universo de subcategorías e híbridos, debiendo considerar también que la interacción física directa tiene consecuencias afectivas que se manifiestan en una fuerte aceptación o rechazo del material (Fisher, 2004).

Con base en las características del entorno, como su complejidad, en el que se desarrollan las actividades del diseñador éste debe contar con instrumentos que guíen sus decisiones, por lo que se determinó la

⁷ El concepto “ciclo de vida” contempla todos los factores involucrados con un producto o servicio, desde la extracción de materia prima, procesos de producción, distribución, fase de uso, final de vida y lo que sucede cuando el producto se desecha.

⁸Para el desarrollo de esta investigación, se considera “material”, a la sustancia de que está compuesto un objeto o que puede ser trabajada para fabricar un producto físico. Tomado del Merriam-Webster Online Dictionary, el 2 de junio de 2010, de <http://www.merriam-webster.com/dictionary/materials>.

⁹Tomando como base la definición de Buchanan, durante este trabajo se considera al “diseño de producto” como el desarrollo de las actividades necesarias para concebir, planear y fabricar un objeto útil desde la perspectiva del diseñador.

necesidad de localizar aquellos métodos o herramientas para la selección de materiales en el proceso de diseño.

Chris Lefteri considera que la selección de un material adecuado para un proyecto de diseño puede ser crítico para el éxito de ese producto. Ya sea que hablemos de construcciones, productos, mobiliario, moda o empaque, en un punto debe decidirse sobre la necesidad de ser construido y qué material emplear. Aunque en algunos casos esta selección parezca obvia, en otros puede requerirse algún pensamiento creativo (Lefteri, 2009), como sería la propuesta innovadora a un problema de diseño.

Deng y Edwards consideran principalmente dos **etapas** relacionadas con la **toma de decisiones** respecto a los **materiales en el diseño**, la **primera** denominada **“identificación”**, en que el diseñador emplea su juicio para identificar combinaciones apropiadas material-principio de funcionamiento y se realiza en las primeras de generación de conceptos; como **segunda** etapa definen a la **“selección”** propiamente dicha que se lleva a cabo en el resto de las etapas de diseño y para la cual existen varios métodos como se indica en la siguiente tabla.

Tipos de investigación	Investigación en la selección de materiales basada en las propiedades requeridas de los materiales.	Investigación en la selección de materiales basada en las “métricas de diseño” establecidas, donde los requerimientos en las propiedades de los materiales se relacionan las características física y su estructura.
Formas de información de los materiales y/o conocimiento relevante	<ul style="list-style-type: none"> • Información de materiales encontrada en manuales, hojas de datos, etc. • Información de materiales en bases de datos computarizadas. • Información de materiales en bases de conocimiento computarizadas. 	Sistemas en desarrollo que involucran resolver la problemática de enlazar la selección de materiales y el diseño de la forma o su optimización, a partir de métricas de diseño específicas.

Tabla 1. Tipos de investigación y de fuentes de información para la selección de materiales (Deng y Edwards, 2007).

Ashby y Johnson han compilado varias técnicas para la selección de materiales en el diseño y consideran que el hecho de seleccionarlos implica que a partir de la “información de entrada”¹⁰ se obtenga “información de salida”¹¹, para lo cual describen los siguientes métodos: (Ashby y Kara, 2002).

2.4.1. Selección por análisis

Es una técnica empleada por los ingenieros, debido a su perfil y procede en cuatro etapas.

1ª, traducción de los requerimientos del cliente, que se obtienen en términos no técnicos a restricciones que el diseño debe cumplir.

2ª, análisis de la función del componente en que se empleará el material.

3ª, identificación de las propiedades que debe poseer el material, y

4ª, la búsqueda en una base de datos de materiales y sus propiedades.

2.4.2. Selección por síntesis

La síntesis se fundamenta en la experiencia previa y la analogía del problema de diseño con otras soluciones, este método es comúnmente empleado por los diseñadores, y la selección de materiales parte de casos de estudio, que se relacionan con el nuevo problema.

¹⁰ En el presente documento, se contempla como “información de entrada”, a las consideraciones que le son comunicadas al diseñador por el cliente, en forma de necesidades, problemas, deseos, restricciones, entre otras, así como a la información que el diseñador recaba durante su investigación, como propiedades químicas, físicas, estructurales, sensitivas, cognitivas, entre otras.

¹¹ Esta “información de salida” será interpretada, por la naturaleza de esta investigación, como los materiales que pueden ser empleados y sus medios de procesamiento para obtener los objetos físicos, productos de un diseño específico.

2.4.3. Selección por similitud

También empleada por diseñadores, ante la necesidad de sustituir un material, romper paradigmas o por simple exploración de nuevos materiales.

2.4.4. Selección por inspiración

Los diseñadores obtienen la mayor parte de sus ideas de otros diseñadores, así como del ambiente. Es posible encontrar esas ideas mediante una búsqueda sistemática o aleatoria, a partir de alguna colección de materiales, sus imágenes, búsqueda en libros o tiendas, entre otras.

2.4.5. Selección por la combinación de métodos

Pueden seleccionarse materiales a partir de los métodos mencionados y buscar aquella solución que sobresalga entre todas, o que sea la más viable.

2.5. Tendencias y retos futuros en la selección de materiales en el diseño

El incremento constante en la complejidad de los productos con los que interactuamos (Ashby y Johnson, 2002), hace más complejo su diseño y, por tanto, la selección de los materiales para su fabricación.

Esta complejidad resalta la **necesidad** de que los **diseñadores cuenten** con una **herramienta** adecuada para **seleccionar entre** las **posibles soluciones** generadas, lo que les permitirá **reducir** las **decisiones conflictivas** que pueda presentárseles (Pérez, Verdager y Treserras, 2002).

Entre las **tendencias futuras** para la investigación relativa a la **identificación** y **selección de materiales**, desde las primeras a las últimas etapas de diseño, se han propuesto los siguientes tópicos que se espera en el futuro satisfagan las necesidades de herramientas para los diseñadores (Ashby et al., 2004):

2.5.1. Diseño considerando el ciclo de vida, mediante reglas de sistemas expertos

Ya que los métodos actuales no contemplan información respecto a la duración del servicio útil de los objetos bajo distintas condiciones de carga, corrosión, desgaste, fatiga, temperatura, obsolescencia.

2.5.2. Selección y modelado de procesos

Donde se incluya los tipos de materiales que pueden transformar, las formas que pueden crear y las características del producto terminado (acabados, tolerancias, etc.), así como su influencia en la viabilidad económica.

2.5.3. Enlace de las herramientas de selección de materiales y procesos, con herramientas de dimensionamiento y modelado geométrico

De manera que se relacionen eficientemente materiales, formas y procesos.

2.5.4. Selección de materiales compuestos

Que contempla la combinación de dos o más materiales para formar un “híbrido” que cumpla todas las restricciones de diseño o que ofrezcan el desempeño adecuado cuando un solo material sea incapaz de lograrlo.

2.5.5. Diseño “verde”

Que considera diseñar para minimizar el impacto de los productos en el ambiente, lo que a su vez se puede evaluar como una métrica a ser optimizada de igual manera que el desempeño y el costo, aunque de forma más compleja pues involucra la extracción y refinamiento de materiales, la manufactura del producto a partir de éstos, el uso del producto y su disposición final.

2.5.6. Estética y diseño industrial

Aspecto que incorpora en la toma de decisiones la selección del consumidor, a partir de su percepción, de la estética del producto, sus asociaciones y significados. Aquí el reto reside en identificar los atributos relevantes y determinar cómo encontrar la solución a sus necesidades.

2.5.7. Seleccionar “materiales funcionales”¹²

Cuyas características dependen también de su geometría, procesos de manufactura, condiciones de uso, entre otras, lo que hace más compleja su selección.

2.5.8. El reto de la miniaturización

La reducción de peso y tamaño equipos electrónicos de consumo¹³, imponen mayores demandas a los materiales, tanto en las cargas mecánicas, térmicas y eléctricas, cuyas características se mantienen a las escalas de uso habitual, mientras que a escalas menores¹⁴ también cambian sus propiedades.

2.5.9. Identificar posibles aplicaciones para nuevos materiales

En este caso el problema de selección se invierte, ya que en lugar de buscar materiales para una nueva aplicación se deben encontrar aplicaciones para los nuevos materiales, proceso que es lento y costoso. Por lo que aún está vigente la pregunta si es posible desarrollar algún procedimiento para reducir el riesgo de estos proyectos.

A partir de estas tendencias, se puede observar la necesidad de los diseñadores para disponer de un medio que les brinde información para la selección de materiales y que permita el manejo de datos cuantitativos y cualitativos en un contexto de incertidumbre.

¹² En este contexto, la definición de “materiales funcionales” se refiere a aquellos que reaccionan o cambian sus características ante un estímulo o señal, ya sea eléctrica, térmica, magnética, etc.

¹³ Equipos como teléfonos móviles, computadoras portátiles, entre otros.

¹⁴ Del orden de micrones o menores.

2.6. Características a considerar en los materiales durante el diseño de un producto

Dependiendo de los **objetivos** que se trace el **diseñador** y de los **valores**¹⁵ que **busque insertar** en el producto, a continuación se listan algunas de las **características** de los **materiales** que debe conocer para cumplir con los objetivos planteados (Kotler, 1984), (Ashby y Johnson, 2002), (Ulrich y Eppinger, 2008), (Karana et al., 2008).

Tipo de propiedad	Cuantitativa	Cualitativa
Sensorial	Apariencia visual, apariencia táctil, atributos acústicos	
Características intangibles		Valores percibidos, asociaciones, significado cultural, tendencias, calidad, duración, fragilidad.
Técnicas	Resistencia a la tracción, a la compresión y al impacto, módulo elástico, elongación, Límite de fatiga, dureza, densidad, conductividad térmica y eléctrica, expansión térmica, temperatura de moldeo, costo, volumen de producción, durabilidad.	Proceso de manufactura, adecuación de técnicas, disponibilidad en el mercado.
Notas de diseño	Ambiente recomendado de uso	Limitantes de forma, seguridad y salud
Impacto ambiental ¹⁶ ,	Huella de carbono, energía consumida en la fabricación.	

Tabla 2. Síntesis de las características de los materiales que debe conocer el diseñador (Kotler, 1984), (Ashby y Johnson, 2002), (Ulrich y Eppinger, 2008), (Karana et al., 2008).

¹⁵ Valores funcionales, estéticos, comerciales, éticos, entre otros.

¹⁶ Para evaluar esta propiedad, pueden considerarse diversos indicadores tanto para su obtención, procesamiento y uso, como son: la huella de carbono, energía consumida, acidez del aire, capacidad de reciclado.

Cuando se busca definir la **información** necesaria para la selección de materiales, se **considera suficiente** con sus **características, propiedades físicas y químicas, clasificación** que depende del punto de vista de quien la realiza, así como su **estructura** (Chávez, 2010), sin embargo aunque esto podría ser adecuado, **se deja de lado la consideración del proceso** a que serán sometidos los materiales para su **transformación** y que modifican dichas características, lo cual es comprensible por la enorme cantidad de alternativas a que llevaría tratar de evaluar todas las posibilidades, como se puede observar en el diagrama del **anexo 1**.

Es importante señalar que **durante la selección de materiales** en un conjunto técnico¹⁷, la **evaluación** de las **características cuantitativas y cualitativas** se **interfieren numerosamente** dentro de cada proceso, como menciona Bertrand Gille (Gille, 1999):

Ante todo entre las cualidades: el trabajar con una materia dada requiere útiles de una cualidad igualmente determinada. Pero la producción de determinadas cantidades puede, asimismo, exigir unas cualidades precisas de los medios de producción... Esta relación es evidente en el ámbito de los materiales: si la siderurgia utiliza la máquina de vapor, ésta necesita un metal cada vez más resistente para soportar las altas presiones además del recalentamiento.

¹⁷ Como conjunto técnico se entiende a las técnicas cuyo conjunto o combinación concurre a que se dé un acto técnico bien definido.

*“El secreto de la creatividad
es saber cómo esconder tus fuentes”
Albert Einstein*

Capítulo

3. La selección de materiales y la lógica difusa

3.1. *Lógica Difusa*¹⁸

El conocimiento humano ha capturado cada vez más el interés de científicos y filósofos, tanto en la forma de obtenerlo como de procesar la información, la cual se basa en nuestras experiencias en el mundo real, siendo esta realidad compleja e imprecisa (Müller y Reinhardt, 1991). Asimismo se percibe que **la complejidad surge de la incertidumbre en forma de ambigüedad**, y de acuerdo al Principio de Compatibilidad del Dr. Lotfi Zadeh, la complejidad y la imprecisión están relacionadas directamente, de tal forma que esta percepción de incertidumbre en el mundo resulta de la falta de información y en particular de la imprecisión en nuestra percepción, incertidumbre que se ve acrecentada por la falta de precisión del lenguaje empleado para describir o compartir conocimiento (Sivanandam et al., 2007).

Un **sistema de lógica difusa** puede considerarse como el **registro no lineal de datos de entrada** (características) **asociadas** a una **salida escalar** (indicador cuantitativo), es decir que puede manejar simultáneamente datos numéricos y conocimiento lingüístico (Mendel, 1995).

Este sistema **permite manejar problemas vagos e imprecisos**, por lo que se ha usado como herramienta para modelar sistemas complejos que son **difíciles de definir con precisión**. Es posible usar una **lógica multivalor**¹⁹ para evaluar conjuntos de variables con valores intermedios entre sí/no, cierto/falso, alto/bajo, etc. y **permite formularlos matemáticamente y procesarlos** mediante **computadora** en un ambiente más entendible por los programadores (Sivanandam et al., 2007), (Sarfraz, 2009), para mayor información ver el **anexo 2**.

¹⁸ La herramienta de la Lógica Difusa fue introducida en 1965 por LotfiZadeh, como una herramienta matemática para manejar la incertidumbre y ofrece una forma de realizar cálculos con conceptos mediante el uso de palabras en lugar de números. En el presente documento, se **emplearán indistintamente** los términos “difuso” y “borroso”, como adjetivos que definen una característica de vago, impreciso o que no se distingue con claridad. Por lo que aplicados a la Lógica Difusa, la Real Academia de la Lengua Española la definen como <La que admite una cierta incertidumbre entre la verdad o falsedad de sus proposiciones, a semejanza del raciocinio humano>.

¹⁹ Se emplea el concepto de “lógica multivalor” para designar las bases teóricas que permiten manejar la combinación de posibles valores de una variable en un intervalo continuo.

3.2. Empleo de la Lógica Difusa para la selección de materiales

La **característica** más **atractiva** para el planteamiento de **seleccionar materiales** durante el proceso de diseño **mediante** la **lógica difusa**, es la **posibilidad** de **manejar** datos en **variables** numéricas y **lingüísticas**, pues la información de que dispone el diseñador se presenta muchas veces como la descripción de la experiencia adquirida en el estudio de casos, que se traduce en tablas o gráficas para describir propiedades multidimensionales (Ashby y Johnson, 2002).

El empleo de la Lógica Difusa puede verse como el intento de sistematizar dos capacidades humanas sobresalientes (Zadeh, 2008):

1. La capacidad de conversar, razonar y tomar decisiones racionales en un ambiente de imprecisión, falta de certeza, información incompleta, información conflictiva, parcialidad de la verdad y parcialidad de la posibilidad, en pocas palabras, en un ambiente de información imperfecta.
2. La capacidad de desempeñar una amplia variedad de tareas físicas y mentales sin mediciones ni cálculos.

Para la selección de materiales **pueden emplearse datos** tanto **cuantitativos** como **cualitativos**, que se **presentan** con **imprecisión** y en **grandes cantidades**²⁰, sobre todo en las primeras etapas del proceso de diseño, esta característica de la información que **puede ser manejada mediante** la **Teoría de Sistemas Difusos** (Koning, 1999).

Asimismo debe tenerse en cuenta que, en general, **durante** los **procesos de diseño** se **involucran objetivos conflictivos o contradictorios**, que se reflejan en un compromiso, por lo que un buen diseño siempre será aquel que logre el mejor compromiso (Petroski, 1996), dentro de un contexto determinado.

²⁰ Un ingeniero o diseñador que concibe un nuevo producto puede disponer de entre 50,000 materiales distintos, aproximadamente (Ashby, 1989).

Por estas características de complejidad, multidimensionalidad y diversidad de representaciones, como se amplía en el **anexo 3**, se considera apropiado el uso de una herramienta basada en Lógica Difusa, para la selección de materiales en el diseño de nuevos productos o en la sustitución de materiales en productos existentes.

*“Todo aquello que es realmente genial e inspirador es
creado por el individuo que puede trabajar en libertad”
Albert Einstein*

Capítulo

4. Estudio

4.1. Propósito

Con el fin de determinar la factibilidad de emplear la Lógica Difusa en la selección de materiales en el área de Diseño Industrial, se considera conveniente desarrollar la investigación *a través* del diseño, que como señala Frayling, sería un proceso basado en proyectos que incluyen aquello que se desea investigar y desarrollar (Laurel, 2003).

En esta investigación se empleará un método participativo como el que Ireland denomina “ubicado en casa”²¹, para observar el uso que hagan diversos diseñadores de una herramienta basada en software, precisamente a partir de su interacción con esta ayuda se pretende determinar las etapas y relaciones involucradas durante la proyección de escenarios de forma interactiva e inmediata, como apoyo en la selección de materiales durante el diseño de productos.

4.2. Implementación del algoritmo de la lógica difusa para la selección de materiales

La **evaluación** de la **Lógica Difusa** como **herramienta** para la **selección** de **materiales** en el **diseño**, se realizará implementando en un lenguaje de cómputo, como se amplía en el **anexo 3**, un **algoritmo** que permita **integrar** la **información disponible en la bibliografía**, de los siguientes materiales²².

- **Polímeros**
 - Nivel de cristalinidad
 - Nivel de fibras adicionadas
 - Aramida
 - Fibra de vidrio

²¹ Este método busca obtener información directamente del usuario, a partir de su interacción con el producto, servicio o sistema bajo investigación, por lo que se le involucra en el desarrollo de lo que utilizará en el futuro. A los individuos se les proporciona el producto o servicio en una etapa inicial o al final del desarrollo y se le pide que lo utilicen como parte de sus actividades diarias y que después retroalimenten sobre su desempeño (Ireland, 2003).

²² Únicamente se contemplaron como materiales a polímeros y aceros, debido las restricciones en recursos para el desarrollo del presente trabajo.

- Nivel de adición de elastómeros
- Nivel de adición de cargas minerales
- Nivel de adición de retardante de flama
 - Orgánico
 - Inorgánico
- Nivel de adición de estabilizador UV²³
- **Aceros**
 - Nivel de carbón
 - Nivel de aleantes²⁴
 - Nivel de severidad del tratamiento de temple

Esta **sobre-simplificación** de los materiales disponibles para el diseño de productos, se realiza con el fin de **hacer manejable** la cantidad de **información** a ser almacenada en el programa de cómputo propuesto, pues dicha información se ve incrementada exponencialmente al considerar los procesos de manufactura de cada material, así como la infinidad de condiciones de uso que se pueden presentar.

Cabe señalar que como **esencia** primordial de la presente investigación es **evaluar** las bondades de la **Lógica Difusa** para **estimar** las características **cuantitativas** y **cualitativas** de diversos materiales a partir de sus características básicas y variables de proceso, se emplearon únicamente tres valores para registrar estas características²⁵:

1. Bajo
2. Medio
3. Alto

Aunque la **herramienta permite incrementar la precisión** de estos valores con datos intermedios como “ninguno”, “bajo-medio”, “medio-alto”, etc., se considera únicamente esta escala de valores pues la información precisa de las propiedades de los materiales se requiere principalmente en la etapa de diseño detallado, mientras que en la etapa de diseño conceptual se emplea información cualitativa (Karana et al., 2008).

²³ Estabilizador para incrementar la resistencia a la luz ultra-violeta.

²⁴ Se consideran aleantes a los elementos químicos que se agregan intencionalmente a la aleación de acero para modificar su composición con el fin de facilitar la obtención de distintas microestructuras mediante los tratamientos térmicos, como el temple y el revenido.

²⁵ Los valores que pueden tomar las variables lingüísticas pueden ser infinitos, sin embargo con base en las características de indeterminación y falta de completitud de la información disponible en el presente trabajo, se decidió considerar únicamente tres niveles.

La interfaz del software permitirá ingresar perfiles lineales²⁶ de las variables de entrada disponibles, que dependen de cada material, a la vez que arrojará sus resultados de manera gráfica considerando la evolución de las variables de salida para cada configuración de las variables de entrada. Esta estructura se seleccionó considerando que en virtud de que los diseñadores son capaces de extraer visualmente información valiosa a partir de bocetos vagos e incompletos, también podrán leer información de otras representaciones, aún si dichas representaciones no se encuentran tan relacionadas con el problema que están atacando (Goldschmidt y Smolkov, 2006).

²⁶ La “linealidad” de los perfiles se refieren a su variación proporcional entre el control gráfico y los valores de las variables.

4.3. *Requerimientos*

Para tener la capacidad de implementar una herramienta basada en software, que pueda ser empleada por los diseñadores y en la cual se integren los conceptos de lógica difusa para la selección de materiales, fue indispensable desarrollar las siguientes componentes de dicho sistema, cuyas características se describen en el **anexo 4**:

- Una base de datos que defina las funciones de los conjuntos difusos usados para las reglas difusas.
- Una base de sentencias que contengan reglas difusas Si-Entonces.
- Un “motor de inferencia borroso”²⁷ que transforma las entradas en un nivel de correspondencia con valores lingüísticos.
- Una unidad de toma de decisiones que realiza operaciones de inferencia en las reglas difusas.
- Una interface de “desborrosificación”²⁸ que transforma los resultados difusos de la inferencia en una salida definida.

A partir de los datos disponibles sobre materiales, se generaron los conjuntos difusos sobre propiedades de materiales.

- Datos numéricos.
- Datos cualitativos en variables lingüísticas.

Una vez desarrollado el software donde se integró el sistema de lógica difusa se evaluó aplicando el “análisis de protocolo”²⁹, para lo cual se seleccionaron dos diseñadores industriales³⁰, quienes no estaban familiarizados con la herramienta propuesta basada en lógica difusa, por lo que fue su primera experiencia con la misma.

²⁷ Se entiende por “motor de inferencia borroso”, al algoritmo que combina reglas borrosas con estructura Si-Entonces y permite relacionar valores de entrada de un conjunto difuso X con valores de salida de un conjunto difuso Y, basado en principios de lógica difusa (Sivanandam et. al., 2007).

²⁸ Este término se emplea para definir al proceso de obtener un valor representativo a partir de un conjunto difuso.

²⁹ Esta herramienta ha sido aceptada como una técnica de investigación que permite hacer explícito el proceso dentro del diseño [Cross et al., 1996].

³⁰ Únicamente se contemplaron dos diseñadores por las restricciones de recursos para el estudio respectivo.

4.4. Método de evaluación

Se les presentarán dos problemas de diseño a cada uno, expresados en dos *briefs*³¹ que se localizan en el **anexo 4**, y deberán desarrollarlos bajo los escenarios:

- Sin emplear la herramienta.
- Empleando la herramienta desarrollada.

En estos ejercicios de diseño únicamente se contempla la selección de aceros y polímeros, así como los procesos asociados, por lo que no se considerarán acabados superficiales, pues ello incrementaría la complejidad de la evaluación y escapa al alcance de esta tesis.

Durante los ejercicios se deberán cumplir los siguientes objetivos:

1. Bocetar sus conceptos.
2. Hacer explícitas las funciones de su propuesta.
3. Seleccionar el o los materiales que considere adecuados.
4. Verbalizar el proceso de diseño.

Las actividades se registrarán mediante video, a fin de observar las etapas del proceso que desarrollen con y sin el uso de la herramienta basada en lógica difusa.

Los procesos de selección de materiales realizados por cada diseñador, podrán determinarse al verbalizar su trabajo, para estar en capacidad de determinar los cambios que se presentan con el empleo de la herramienta.

Finalmente se realizará un estudio comparativo entre los resultados obtenidos entre el uso o no-uso de la herramienta basada en Lógica Difusa.

³¹En el presente documento se empleara la palabra *brief* para definir al conjunto de instrucciones dadas a una persona [diseñador] acerca de un trabajo o tarea [de diseño].

*“Se puede descubrir más sobre una persona en una
hora de juego que en un año de conversación”*
Platón

Capítulo

5. Resultados

5.1. Primer caso



Profesión: Diseñador industrial

Nombre: Amancio Salvador Guzmán Juárez

Egresado de: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco

Experiencia: 5 años trabajando como Diseñador Industrial, con experiencia en Mobiliario para casa habitación.

Verbalizaciones del proceso de diseño ante el *brief* No. 1, sin emplear el software de apoyo

“Bueno, en esta ocasión tenemos una necesidad, el problema está planteado para un contenedor para líquidos, portátil; lo primero que a mi parecer se tiene que hacer es plantear el problema y delimitarlo. En este caso el problema es un contenedor para líquidos, que va a ser comercializado en la Ciudad de México, y se requiere que sea de un costo reducido y que se pueda producir en serie, lo primero que tenemos que hacer.... ¡Ah! Y lo principal es que sea para deportes, por lo tanto pues tiene que ser portátil.

Definición del problema

Criterios y restricciones

Entonces lo primero que tenemos que “chechar” en el mercado es cuáles son los contenedores portátiles que hay para líquidos, para deportes, cuáles son los que más se venden, cuáles son los materiales que actualmente se están utilizando.

Propuesta de investigación de mercado

En este caso yo me imagino que debe ser un polímero, un polímero que permita que el líquido mantenga una temperatura, que si el líquido se requiere que sea frío no se caliente tan fácilmente y que pueda ser expuesto al medio ambiente sin ningún problema.

Asignación de materiales

De allí nos basaríamos para investigar qué tipo de polímero podríamos utilizar, la opción que yo veo más viable para producción en serie sería un producto de inyección de plástico, se tendría que hacer con un molde y hacerlo por medio de inyección.

Determinación de proceso

Bueno, en este caso no hay mucho material pero el siguiente paso sería hacer tomas de todos los envases que hay en el mercado para basarnos, para evitar caer en una réplica porque muchas veces nos ponemos a diseñar... en nuestra creatividad se quedan imágenes que no sabemos que ya existían y las plasmamos de repente sin haber hecho un estudio de mercado puede resultar que ese contenedor ya existe, entonces sí es muy importante hacer una investigación de mercado para no caer en ese error.

Investigación de mercado

Investigación de mercado

Ya una vez teniendo la investigación de mercado podemos empezar a bocetar, y desde antes de bocetar debemos de saber qué tipo de material vamos a utilizar, en este caso para mí la opción sería un polímero para inyección y sería un polímero que permita ser expuesto a la intemperie, que no

Asignación de materiales

pierda sus propiedades y que a la vez funcione como un tipo térmico, que permita que lo de adentro, el líquido que contenga mantenga su temperatura que se le... con la que fue vaciado... no sabría decir cuál polímero, tendría que investigarlo.

Criterios y restricciones

Bueno, este... ya definido, ya sabiendo que es un contenedor para líquidos para el área de deportes y que va a ser portátil y empezaría a hacer propuestas y ahora se me ocurre que puede ser un contenedor totalmente ergonómico, que se pueda ajustar a la parte de la cintura o la cadera del deportista, del usuario en este caso y que tuviera una media forma de luna... [dibujando]... como uno de los requerimientos que están pidiendo es que el contenedor tenga la menor cantidad de piezas, pues en este caso lo que pensaría es que no contaría con una tapa como tal, sino sería una entrada para un popote, el popote sería una pieza bastante grande, el objetivo sería que vendría de la parte de la cintura hacia lo que es la boca para que el usuario, el deportista, pueda traer el contenedor aquí [señala la cintura] y se evite la fatiga de tomar el envase y estarlo tomando cuando hace su deporte, más bien que este acá fijada en la cintura y que el popote jale el líquido que es lo que va a traer.

Propuesta formal

Ahora el líquido no hubo una restricción de qué cantidad es la que se pretende acumular, lo voy a hacer de litro y medio para que no sea tan grande y creo que sería lo suficiente para que un deportista se pueda alimentar, pueda estar tomando líquidos en una actividad dada por un tiempo límite... [dibujando]..."

Propuesta formal

Verbalizaciones del proceso de diseño ante el brief No. 2, empleando el software de apoyo

"Vamos a trabajar con una herramienta para trabajar... hacer una herramienta para supervivencia diseñándola, esto sería para acampar, para las personas que se dedican al campismo y pues prácticamente sería para usar en nuestro País.

Definición del problema

Tenemos que tomar en cuenta varias cosas para empezar a buscar el material más apropiado para este tipo de herramienta, que serían actividades al aire libre o sea que tiene que tener resistencia a la corrosión, porque se va a utilizar... se entiende que esta herramienta se va a utilizar para preparar

Criterios y restricciones, funciones

alimentos, como para pequeños trabajos de acondicionamiento dentro del área de campismo, que se pueda golpear inclusive con esta herramienta y diversas actividades... que sea multifuncional la herramienta.

Criterios y restricciones, funciones

Bueno, en este caso yo, teniendo en cuenta que podría ser un material cerámico o que podría ser un material de acero, un acero muy resistente a la torsión y que sea muy maquinable, o inclusive podría ser un polímero; bueno, en este caso de los tres me iría por el lado del acero, el cerámico tal vez pueda tener mucha resistencia, pero como es un material duro pudiera quebrarse y creo que el acero sería la mejor opción.

Asignación de materiales

Aquí, estamos trabajando con un programa que nos puede facilitar qué tipo de acero queremos y con qué tipo de propiedades, aquí lo que manejé fue: en el costo, como no hay una restricción en el costo pues le puse un costo elevado porque es una herramienta especial; en maquinabilidad, le puse una maquinabilidad también alta; en resistencia a la corrosión, aquí va del 1 al 10, le puse el 9; y en rigidez, le puse algo no tan rígido, para que fuera un material que no se fuera a quebrar o se fuera a romper.

Definición de características del material

Aquí lo que se maneja son qué cantidad de carbón, de aleantes y de temple puede tener este acero, bueno, dependiendo de las prioridades... [manipula las variables de entrada del programa y observa los resultados], bueno ¿aquí va la prioridad?

Bueno, en este programa me apoyé para decirle al fabricante más o menos qué tipo de acero es el que se tiene contemplado para esta herramienta de supervivencia. En este caso como nuestras prioridades, la mayor es la resistencia a la corrosión, pues aquí en los valores de entrada se maneja el temple, los aleantes, el carbón; me voy a colocar en lo que es un temple base, se manejan tres tipos de niveles: bajo, medio y alto, en este caso el temple lo voy a dejar en bajo y en el caso de los aleantes y del carbón lo vamos a subir, aquí nuestro valor relativo nos está dando más o menos un aproximado y preferente a la prioridad que estábamos pidiendo, en este caso es la resistencia a la corrosión y aquí... [manipula las variables], en este caso el valor relativo de la corrosión es de 0.2, que le habíamos dado una prioridad de 9, iba de 0, de 1 a 10 con un valor de 9, entonces de acuerdo a los valores que le di aquí en

Determinación de composición del material y proceso

lo que es el carbón y aleantes, que fue el carbón alto y el temple bajo, concuerda con los valores relativos originalmente de nuestra prioridad que manejamos en este caso la corrosión, después la maquinabilidad y de ahí se iría a lo que es la rigidez, entonces en este caso con este programa ya se puede ir con el fabricante y pedirle que sea... buscar un acero que tenga un temple de baja intensidad, con mayor carbono y un porcentaje alto de aleantes”

Determinación de composición del material y proceso

“Este programa me parece interesante porque te ayuda mucho a darte una guía ... te orientas más a qué material vas a pedir, qué cubre las necesidades de tu problema”...” sí tenía experiencia en el manejo de aceros pero no tan a detalle”... “es realmente rápido, te da una respuesta rápida, colocas tu prioridad y de acuerdo a las necesidades que tu tienes de la herramienta o del diseño que vas a hacer colocas cierto porcentaje que tu consideras y pues te empieza a dar valores objetivos y pues ahí vas buscando que sean relativos a lo que estás buscando tu prioridad”...”lo podría usar como una referencia de porqué se llegó a determinar un material, te sirve para argumentar porque planteas tus necesidades, cuál es la necesidad que tiene el diseño y ya después inclusive hacer una tabla comparativa de que aquí estas cubriendo esas necesidades y pues te arroja un valor relativo de qué tipo de material es el más conveniente para que cubra esas necesidades”.

Opinión del software desarrollado

5.2. Segundo caso



Profesión: Diseñador industrial

Nombre: Andrés Camacho Garduño

Egresado de: Universidad Autónoma Metropolitana

Experiencia: 5 años ejerciendo la profesión de Diseño Industrial.

Verbalizaciones del proceso de diseño ante el *brief* No. 2, sin emplear el software de apoyo

“En esta ocasión vamos a tener una “repentina”, el tema es una herramienta de supervivencia, vamos a llamarle un sistema de supervivencia que se utiliza en campismo, el cual se va a poder utilizar en actividades al aire libre para hacer algunos pequeños trabajos de acondicionamiento, ya sea golpear, como cortar o algo así, que sea resistente y pues, viene a mi mente algo sencillo, yo he estado en campamentos, entonces lo que se necesita es un elemento que pueda cortar pues, troncos pequeños, ramas y que sean manera de sujeción para cuando uno puede caer o tratar de subir a algún lado poder sujetarse.

Definición del problema

Criterios y restricciones

Entonces [inicia el dibujo de bocetos] en mi mente algo sencillo como una agarradera en la cual uno pueda sujetarse, del tamaño adecuado para que el brazo pueda tener la suficiente sujeción a la misma, la cual pueda tener un cubre-dedos, y de esta misma pueda salir un elemento, un poco corto, pero... un elemento de corte... [continúan los trazos], y asimismo este cubre-dedos, de sujeción de una especie de cuña como los que usan los alpinistas, aquí va... lo que es la mano... ya sea derecho o diestro, es igual... entonces esta parte de agarre tendría que ser con una capa plástica, esta tendría que ser... el alma metálica, por lo menos la sujeción y obviamente el subsistema de corte de metal, con su corte para madera, básicamente este va a ser un sistema el cual pueda funcionar a los campistas para que puedan, ya sea cortar hierba, cortar ramas o, en su caso, sujetarse de algo para poder subir a alguna cuesta o una pendiente muy elevada”.

Propuesta formal

Asignación de materiales

Conclusión

Verbalizaciones del proceso de diseño ante el *brief* No. 1, empleando el software de apoyo

“Ahora vamos a otra repentina, y vamos a tener un sistema para retener líquidos, debe ser portátil para personas que hacen deporte, son los requerimientos, algo que sea fácil de limpiar, expuesto a la intemperie, de costo reducido, que no tenga muchas piezas, que no sea tan complicado -pocos subensambles-, que se pueda producir en serie, y eso es pues, aquí en el Distrito Federal.

Definición del problema

Un contenedor para líquidos, portátil, imagino que es para una persona que va a correr, hacer deportes afuera, fácil de limpieza entonces debe tener características de lo menos

Criterios y restricciones

rugoso que se pueda para facilitar esa limpieza, “ok”... contenedor, lo más... sería tal vez un plástico, sería... cuando se dice ergonómico es que pueda controlarlo o manipularlo con una mano tal vez, sin que este le produzca cansancio que este lo pueda sostener, que sea fácil de soportar, de mantener, entonces imaginemos algo emocionante... [inicia el bocetado]

Criterios y restricciones

Pudiera ser... contenedor, debe ser algo espacioso por dentro, es una salida [en el boceto] que sea un poco reducida para poder llevarla a la boca, algo que me llama mucho la atención pudiera ser una especie de... [continúa dibujando] de correa, para que pueda sujetarla con la mano... queremos que este atleta pueda sostener suficiente agua para poder hidratarse, aquí está [en el dibujo coloca la mano] para que pueda sujetarse, aquí serían pues los dedos... entonces está la correa...

Propuesta formal

Necesitamos unas características, aquí por lo menos pues son dos o tres piezas, una pieza sería propiamente el contenedor, otra sería la correa transportadora, y el sistema para bebida, serían tres, pues entonces ésta debería ser rígida, pero pudiera no ser tan fácilmente transportable, entonces debería tener cierto factor de compresión, incluso; éste sistema debe ser rígido porque aquí se va a aferrar, entonces no hay problema. Lo que veo es que hay que analizar de qué material tendría que ser éste.

Propuesta formal

Entonces vamos a usar un *software* nuevo... [manipula el equipo de cómputo], vamos a ver, variables de salida... deben ser... queremos que sea flexible, un poco más de lo normal de los que existen hoy en día en el mercado... la resistencia a la fatiga, pues un poco... temperatura, bueno, pues sí... resistencia a la luz solar, pues igual a la temperatura... elastómero... retardante a la flama, más o menos... [continúa manejando el *software* y las verbalizaciones son murmullos], aquí sería una buena combinación para este sistema de transporte de líquidos... ahora a sacar los resultados.

Criterios y restricciones

Selección de materiales

Sería... hay una parte que necesito ver pero no puedo [en la pantalla del *software*], entonces ya analizando aquí qué es lo que pudiera ser las características de esta parte que es lo que nos interesó, es lo siguiente: decidimos que fibra aramida sea, pues de una situación media, fibra de vidrio pues muy bajo, de hecho diría yo que lo más bajo que se pudiera, con un elastómero pues de medio-alto, los aditivos de minerales pues

fueron medio, igual que el retardante a la flama y un poquito menos que sea orgánico y retardante a la flama inorgánico, luego también lo que me gustaría entre medio y alto pudiera ser el estabilizador ultravioleta porque es la forma en que podríamos cubrir nuestra agua. Y esto nos da las variables que serían las de salida que es: resistencia química de 0.5, resistencia a la fatiga de 1.5 este va a ser un elemento portátil por lo que va a ser muy manipulado, la resistencia mecánica pues no necesariamente porque solo va a ser transportado, no se va a estar jugando; temperatura de trabajo que sea alta, de 2, con una densidad pues de 1; la flexibilidad pues sí es importante ya que es la más alta de nuestros valores de salida, porque es la forma en que uno puede ir sujetando, dependiendo qué cantidad tenga de líquido... esto no se consideró, la cantidad de líquido [regresa al boceto]... sin embargo va a ser, ya hemos dicho, la resistencia a la luz solar, y que pues no tenga mucho impacto ambiental cuando se termine el tiempo de vida de éste sistema, pues se pueda tirar y no sé, reciclado tal vez y esta es la gráfica que vimos, el recuadro no se alcanza a ver, sin embargo ya nos muestra, pues el porcentaje de estos valores de salida, pues esta es la conclusión de esta “repentina”.

Selección de materiales

Criterios y restricciones

“Pues se me hace interesante el software, ya que a veces cuando uno está planeando, diseñado, pues algún concepto, a veces las situaciones así es más difícil ir a buscar en Internet, pues hay tantas formas de poder buscarlo, sin embargo teniéndolas aquí juntas y ya que puedan irse modificando una con relación a la otra, pues es más fácil entender qué es lo que se necesita, ya que al estar haciendo unas conversiones pierde uno tiempo y la idea de lo que está haciendo”... “la precisión en realidad no es importante porque al estar diseñando se está haciendo a grandes rasgos, entonces la precisión ya sería un poquito antes de que se vaya a producir en serie, sin embargo se necesita a grandes rasgos tener algunos resultados, pero supongo que esta es una buena herramienta, de hecho de las herramientas hay tantas, sin embargo... pero esta ayuda bastante en esa expresión visual de lo que se va queriendo. Y sí, como no es tan importante la cantidad de... medibles de los aditivos, pues con alto-medio-bajo creo que es bueno... y se puede mejorar un poquito porque se nos tapa... y ya se nos repitieron los números tres veces, pero es otra herramienta que tenemos para poder materializar las ideas, los proyectos”.

Opinión del software desarrollado

*“La ciencia puede establecer límites al conocimiento,
pero no debe imponer límites a la imaginación”*
Bertrand Russell

Conclusiones

El presente trabajo abarca los conceptos de Lógica Difusa y la Selección de Materiales y plantea la posibilidad de emplear esta lógica para integrar el conocimiento sobre las características de los materiales, asociadas a los diferentes procesos para su transformación, con sus propiedades físicas y a su desempeño bajo las condiciones en que un producto es empleado.

Es importante considerar la forma en que los diseñadores toman decisiones cuando conciben un nuevo producto o la modificación de uno existente, pues aunque disponen de una diversidad ilimitada de caminos y estrategias, esto implica una constante incertidumbre y falta de completitud en la información de que disponen, aunado a la imprecisión del lenguaje natural y a las restricciones de recursos, características intrínsecas de cada proyecto de diseño.

Es a partir de esta consideración que se plantea la factibilidad de emplear a la lógica difusa como concepto fundamental para implementar diversas herramientas que, aprovechando los desarrollos en software disponibles, faciliten el acceso al conocimiento relacionado con la selección de materiales por parte de los diseñadores, quienes al combinar sus conocimientos y habilidades, dispongan de mayor flexibilidad para decidir sobre múltiples alternativas.

En este contexto, es importante señalar la lógica difusa pueden emplearse para manejar información, casi de cualquier tipo respecto a sistemas técnicos y sociales, camino que podrá seguir siendo explorado en el ámbito del Diseño.

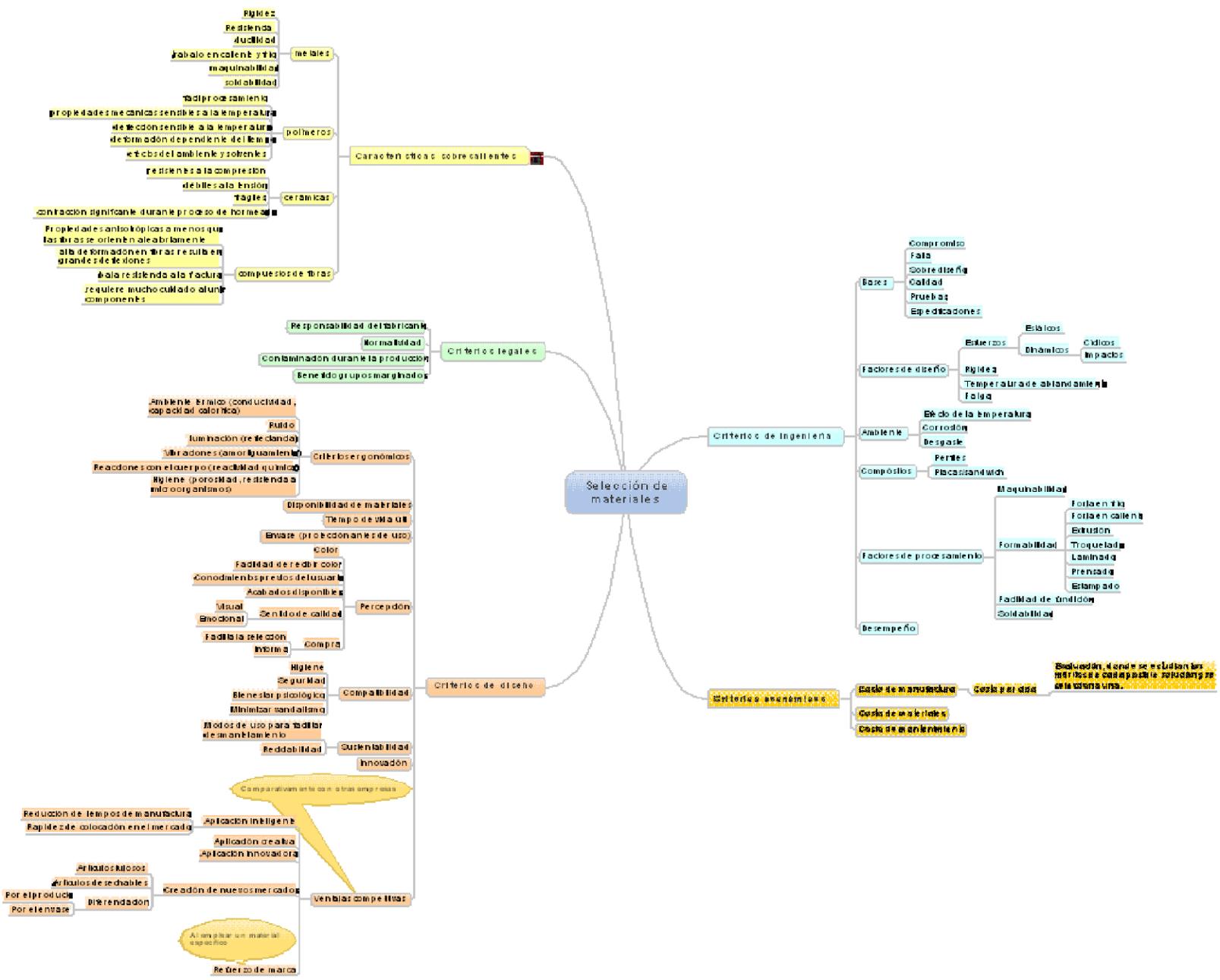
Durante el desarrollo de esta tesis se determinó que con las herramientas informáticas actuales, es posible elaborar un software en el que se integre diverso conocimiento relacionado con los materiales, como sus características físicas, químicas, de impacto ecológico, así como la influencia de sus procesos de transformación. Dicha información puede tomarse de diversas fuentes, como tablas de datos, gráficas, expertos, ya sea en forma cualitativa o cuantitativa, y no precisa cubrir todos los intervalos que pudieran abarcar las variables de entrada y de salida que cubrirá la citada herramienta.

En la parte experimental, la evaluación de los casos de diseño, permitió observar las siguientes características del proceso de diseño al emplear la herramienta de lógica difusa:

- Durante la selección de materiales se promueve el planteamiento de la relación característica-función, como etapa explícita del proceso de diseño.
- Facilita la comparación de materiales alternativos.
- Permite considerar simultáneamente características cualitativas y cuantitativas.
- Agiliza la toma de decisiones en la definición material-forma.
- Aunque los materiales no se especifican en todas sus propiedades, sí permite delimitar sus características para comunicarlas al fabricante.
- Promueve el empleo de un lenguaje común diseñador-fabricante.
- No requiere un conocimiento profundo del diseñador en los materiales, lo que promueve su perfil generalista.
- Se reduce la necesidad modelos matemáticos para implementar conceptos complejos, que son sustituidos por modelos lingüísticos, cuyo manejo es más apegado a la formación de los diseñadores.
- Los proyectos de diseño a cubrir pueden ser de diversa naturaleza.
- Además de permitir al diseñador emplear procesos iterativos de optimización, lo impulsa a realizar estos ciclos de mejora ya que facilita las actividades de comparación y registro.

Anexos

Anexo 1. Criterios involucrados en la selección de materiales para el diseño de productos.



Anexo 2. Conjuntos difusos y niveles de pertenencia.

(Traducción del original en inglés “Fuzzy logic with engineering applications” de Timothy J. Ross, 2004, Ed. John Wiley&Sons, Ltd, USA.

En esta sección se discuten varios elementos de la imprecisión. La toma de decisiones acerca de procesos que contienen una incertidumbre no-aleatoria, como la imprecisión del lenguaje natural, han mostrado ser menos que perfecta. La idea propuesta por Lotfi Zadeh sugirió que un *conjunto de niveles de pertenencia* es la clave para la toma de decisiones cuando encaramos la imprecisión. De hecho, Zadeh hizo la siguiente afirmación en su documento decisivo de 1965:

La noción de un conjunto difuso proporciona un punto de partida conveniente para la construcción de un marco teórico paralelo en muchos aspectos al marco empleado en el caso de conjuntos ordinarios, pero es más general que éste y, potencialmente, puede demostrar tener un campo de aplicación más amplio, particularmente en el campo de la clasificación de patrones y el **procesamiento de información**. Esencialmente, dicho marco proporciona un camino natural para **tratar con problemas** en los que la fuente de **imprecisiones** la **ausencia de criterios** claramente **definidos** de un tipo de **pertenencia**³², **más que la presencia de variables aleatorias**.

Como ejemplo, podemos fácilmente evaluar si una persona mide más de 1.8 metros de alto. En un sentido binario, la persona mide o menos, esa estatura basados en la precisión, o imprecisión, de nuestro dispositivo de medición. Por ejemplo, si “alto” es un conjunto definido por una estatura igual que 1.8 metros, una computadora no identificaría un individuo con una altura de 1.799 metros como miembro del conjunto “alto”. Pero ¿cómo evaluamos la incertidumbre en la siguiente pregunta?: ¿La persona se aproxima a los 1.8 metros de alto? La incertidumbre en este caso se debe a la vaguedad o ambigüedad del adjetivo *aproximado*. Una persona con una estatura de 1.78 metros podría claramente pertenecer al conjunto de personas “de aproximadamente 1.8 metros de estatura”. En la primer situación, la incertidumbre de si una persona, cuya estatura es desconocida, es 1.8 metros o no es binaria; la persona lo es o no lo es y podemos generar una afirmación probabilística basada en perspectiva

³² Precisamente esta es una característica de las actividades del diseñador, quienes al inventar o concebir “futuros” planean, proponen y/o desarrollan caminos que podrían llevar hacia futuros deseables, que por ser hipotéticos no pueden observarse y si acaso sus experiencias pueden ser anticipadas (Krippendorff, 2007).

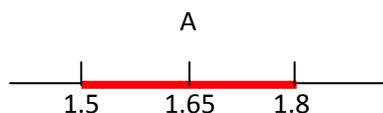
sobre la estatura de varias personas. Pero la incertidumbre de si una persona mide aproximadamente 1.8 metros no es aleatoria. El grado con que esa persona se aproxima a la estatura de 1.8 metros es difusa. En realidad, la “gran estatura” es cuestión del grado y es relativa. Entre las personas de la tribu Tutsi en Rwanda y Burundi, una estatura para un hombre de 1.8 metros es considerada baja. Así que, alguien de 1.8 metros puede ser alto en un contexto y bajo en otro. En el (difuso) mundo real, el conjunto de personas altas pueden traslaparse con el conjunto de personas no-altas, algo imposible cuando seguimos los preceptos de la lógica binaria clásica.

Esta noción de pertenencia a un conjunto, entonces es fundamental para la representación de objetos pertenecientes a un universo mediante conjuntos definidos en dicho universo. Los conjuntos clásicos contienen objetos que satisfacen de manera precisa las propiedades de pertenencia; los conjuntos difusos contienen objetos que satisfacen de manera imprecisa las propiedades de pertenencia, por ejemplo, la pertenencia de un objeto en un conjunto difuso puede ser aproximada. Por ejemplo, el conjunto de estatura de 1.5 a 2.1 metros es precisa (concreta); el conjunto de estaturas en la región alrededor de 1.8 metros es imprecisa, o difusa. Para complicar esto, supongamos que tenemos una colección exhaustiva de elementos individuales x , que forman un universo de información (discurso) X . Más aún, varias combinaciones de dichos elementos individuales forman conjuntos, digamos A , en dicho universo. Para conjuntos concretos un elemento x en el universo X es o no un miembro del conjunto concreto A . Esta característica binaria de pertenencia puede ser representada matemáticamente con la función indicadora:

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

donde el símbolo $\chi_A(x)$ indica una pertenencia definida del elemento x en el conjunto A , y los símbolos \in y \notin denotan la si el elemento se encuentra o no dentro del conjunto, respectivamente.

En nuestro ejemplo del universo de estaturas, supongamos un conjunto A que es el conjunto definido de todas las personas con una estatura de $1.5 \leq x \leq 2.1$ metros, mostrado en la figura 1.



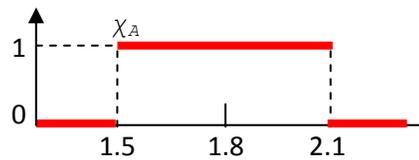


Figura 1. Función de pertenencia de la estatura para un conjunto definido A.

Un individuo particular, x_1 , tiene una estatura de 1.8 metros. La pertenencia de esta individuo en el conjunto definido A es igual a 1, es decir pertenece completamente, o simbólicamente se puede definir como $\chi_A(x_1)=1$. Otro individuo, digamos x_2 , tiene una estatura de 1.499 metros. La pertenencia de este individuo en el conjunto A es igual a 0, es decir no existe, de aquí que $\chi_A(x_2) = 0$, también puede observarse en la figura 1. En esos casos la pertenencia en un conjunto es binaria pues un elemento es o no miembro.

Zadeh extiende la noción de pertenencia binaria para adaptar varios “grados de pertenencia” en el intervalo continuo de los reales $[0,1]$, donde los puntos extremos de 0 y 1 se ajustan a la no-pertenencia y a la pertenencia total, respectivamente, justo como la función indicadora lo hace para los conjuntos definidos, pero existe un número infinito de valores entre dichos extremos, que pueden representar varios grados de pertenencia para un elemento x en algún conjunto del universo. Los conjuntos del universo X que pueden ajustarse a los “grados de pertenencia” fueron denominados por Zadeh como “conjuntos borrosos”. Siguiendo más allá sobre el ejemplo de las estaturas, consideremos un conjunto H que consiste en las estaturas cercanas a 1.8 metros. Ya que la propiedad *cerca de 1.8 metros* es difusa, no existe una única función de pertenencia única para H . En su lugar, el analista debe decidir cuál es la forma de la función de pertenencia, denotada como μ_H . Las propiedades posibles para esta función pueden ser: (Bezdek, 1993)

- (1) *Normalidad* ($\mu_H(6) = 1$)(bajo condiciones normales la suma de un gran número de variables aleatorias se distribuye conforme a una distribución Gaussiana o normal alrededor de una valor),
- (2) *Monotonidad* (mientras más cerca esté H de 6, más cerca μ_H estará de 1), y

- (3) Simetría (los números equidistantes a partir de 1.8 deberían tener el mismo valor de μ_H).

Tal tipo de función de pertenencia se ilustra en la figura 2.

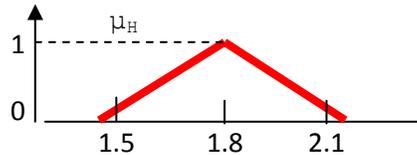


Figura 2. Función de pertenencia de la estatura para un conjunto borroso H .

Una diferencia clave entre los conjuntos definidos y difusos es su función de pertenencia; un conjunto definido posee una función de pertenencia única, mientras que un conjunto borroso puede tener un número infinito de funciones de pertenencia que lo representan³³.

Para los conjuntos difusos, la exclusividad se sacrifica, pero la flexibilidad se gana debido a que la función de pertenencia puede ajustarse para maximizar la utilidad para una aplicación particular.

James Bezdek proporcionó una de las comparaciones más claras entre los conjuntos definidos y los borrosos (Bezdek, 1993). Vale la pena repetirlo aquí.

Los conjuntos definidos de objetos reales pueden ser descritos por una función de pertenencia única, como χ_A en la figura 1. Pero no existe un equivalente al conjunto teórico de “objetos reales” que correspondan a χ_A . Los conjuntos borrosos son siempre funciones, que grafican un universo de objetos, digamos X , dentro del intervalo unitario $[0, 1]$; esto es, el conjunto difuso H es la función μ_H que transporta a X dentro de $[0, 1]$. De aquí que cada función que grafica a X dentro de $[0, 1]$ es un conjunto difuso.

Aunque esta afirmación es verdadera en un sentido matemático formal, muchas funciones que califica en la base de esta definición no pueden ser

³³ Las funciones de pertenencia pueden representarse gráficamente, cuya forma puede incluir muchas figuras. La figura de la función es un criterio importante a considerar, para cuya selección puede emplearse, entre otros métodos, la intuición humana con base en el conocimiento global del problema (Sivanandam et al., 2007). En este caso para facilitar la implementación de las funciones de pertenencia en el software se seleccionó la forma triangular.

conjuntos difusos apropiados. Pero eso les acontece a los conjuntos difusos cuando, y solo cuando, se ajustan intuitivamente a una descripción semántica razonable de las propiedades imprecisas de los objetos en X .

La función de pertenencia comprende la representación matemática de pertenencia en un conjunto y la notación empleada durante este documento para un conjunto difuso es un símbolo de conjunto con una tilde debajo, digamos \tilde{A} , donde el registro funcional está dado por

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$$

y el símbolo $\mu_{\tilde{A}}(x)$ es el grado de pertenencia del elemento x en el conjunto difuso \tilde{A} . Por lo tanto, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ es un valor en el intervalo unitario que mide el grado de pertenencia del elemento x dentro del conjunto difuso \tilde{A} ; equivalentemente $\mu_{\tilde{A}}(x) = \text{grado en el que } x \in \tilde{A}$

Anexo 3. Características de la lógica difusa que permiten su aplicación en la selección de materiales para el diseño de productos.

Planeación y programación de la producción.

Control de procesos.

Control de calidad.

Soporte de decisiones.

Diseño de sensores.

Administración.

Análisis y minería de datos.

Investigación de mercado.

La lógica difusa es una herramienta potente para integrar tomas de decisión en sistemas de cómputo (hardware y software). Puede aplicarse en una variedad de aplicaciones, incluyendo control de procesos y movimiento, manufactura electrónica de consumo, modelado y pronósticos. La línea base de la lógica difusa es el tiempo reducido para aplicarse en el mercado, reducir costos de desarrollo y mejorar el desempeño de los productos.

Aplicación

Es fácil de entenderla conceptualmente.

Es flexible.

Es tolerante con información imprecisa.
Puede modelar funciones no lineales de complejidad arbitraria.

Puede construirse en base a la experiencia de expertos.

Puede combinarse con técnicas de control convencionales.

Está basada en el lenguaje natural.

Permite incluir cualesquiera factores que afecten al proceso de diseño, sin importar su número y naturaleza (cuantitativa o cualitativa). Además se permite que el diseñador establezca el lenguaje natural apropiado asociado a las variables relevantes en el proceso de decisión de modo denficio.

Porqué emplearla

El talón de Aquiles de un sistema difuso se encuentra en sus reglas: reglas inteligentes darán sistemas inteligentes, mientras que otras reglas darán sistemas menos inteligentes e incluso "tontos".

El número de reglas se incrementa exponencialmente con la dimensión del espacio de entrada (número de variables del sistema) aunque este principio de dimensionalidad es genérico de los problemas matemáticos.

Desventajas

Lógica difusa

Características

...en lógica borrosa tiene una importancia fundamental la localidad, pues el significado de un predicado vago varía mucho según su contexto local.

En muchos casos el control mediante controladores borrosos fue superior al control estrictamente manual. El éxito en estas aplicaciones ha enseñado que el control borroso puede tratar con sistemas poco definidos.

Zadeh introdujo la lógica borrosa para describir sistemas que son demasiado complejos o poco definidos para admitir un análisis matemático preciso. Su principal característica es el uso de variables lingüísticas más bien que variables numéricas y la caracterización de las relaciones entre variables por sentencias condicionales borrosas.

A diferencia de los controladores clásicos, el control borroso no utiliza modelos matemáticos del proceso a controlar. La idea básica es imitar el razonamiento y la experiencia del operador humano al controlar un proceso.

Esencias

Esencialmente, los sistemas de control borroso fueron concebidos con el espíritu de incorporar la experiencia de operador o técnico del proceso, expresada de forma lingüística...

La lógica borrosa y los controladores borrosos fueron originalmente propuestos por Zadeh y Mamdani y Assilan como un medio de implementar la experiencia humana y tratar con la incertidumbre.

Ventajas

La principal ventaja de esta aproximación lingüística es la posibilidad de implementar reglas heurísticas, basadas en la experiencia e intuición del operador humano.

Los controladores borrosos son bastante insensibles al ruido de alta frecuencia debido al gran número de reglas y al efecto de promedio que realizan.

Son comparables en precisión a los controladores analógicos.

De utilización:

Consiguen un buen control sobre un amplio rango de condiciones iniciales.

Son más tolerantes a fallos en los sensores.

Anexo 4. Desarrollo de la herramienta de lógica difusa, basada en software, para la selección de materiales en el diseño de productos.

Para implementar la herramienta basada en lógica difusa a ser empleada durante el presente estudio, se utilizó el software Matlab®, el cual es tanto un ambiente como un lenguaje de programación, con la gran ventaja de que permite la construcción de herramientas propias y reutilizables (Sivanandam et al., 2007).

Asimismo, dicho software facilita la programación de interfaces gráficas para ofrecer al usuario claves visuales interactivas, intuitivas y estéticamente atractivas. Esto nos permite compartir funciones o programas sofisticados con personas que no cuenten o posean poco conocimiento de Matlab® (Marchand y Holland, 2003).

A continuación se puede ver la interface del *toolbox Fuzzy Logic* de Matlab, donde se esquematizan las relaciones entre variables de entrada y de salida para los aceros.

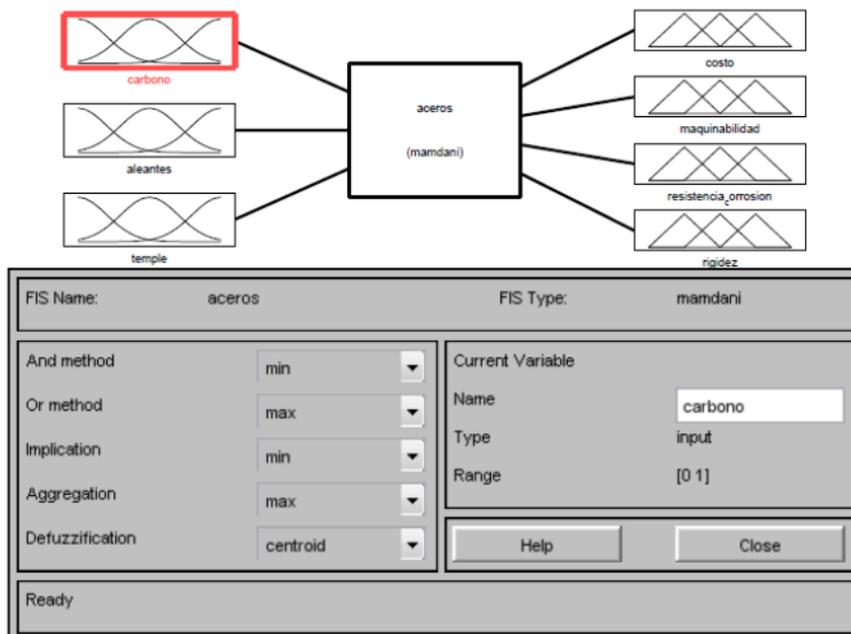


Figura 3. Interfaz gráfica para la creación y edición de “motores de inferencia” de lógica difusa, ejemplificando las variables de entrada y propiedades de salida para aceros.

En la siguiente figura se muestran, en forma gráficas, las reglas *Si-Entonces* correspondientes a los aceros, donde se definen las relaciones entre las principales variables que caracterizan al material con el proceso de fabricación, a fin de obtener indicadores de costo, maquinabilidad, resistencia a la corrosión y rigidez, información que pueden emplearla el diseñador para la toma de decisión en el tipo de material y proceso a utilizar.

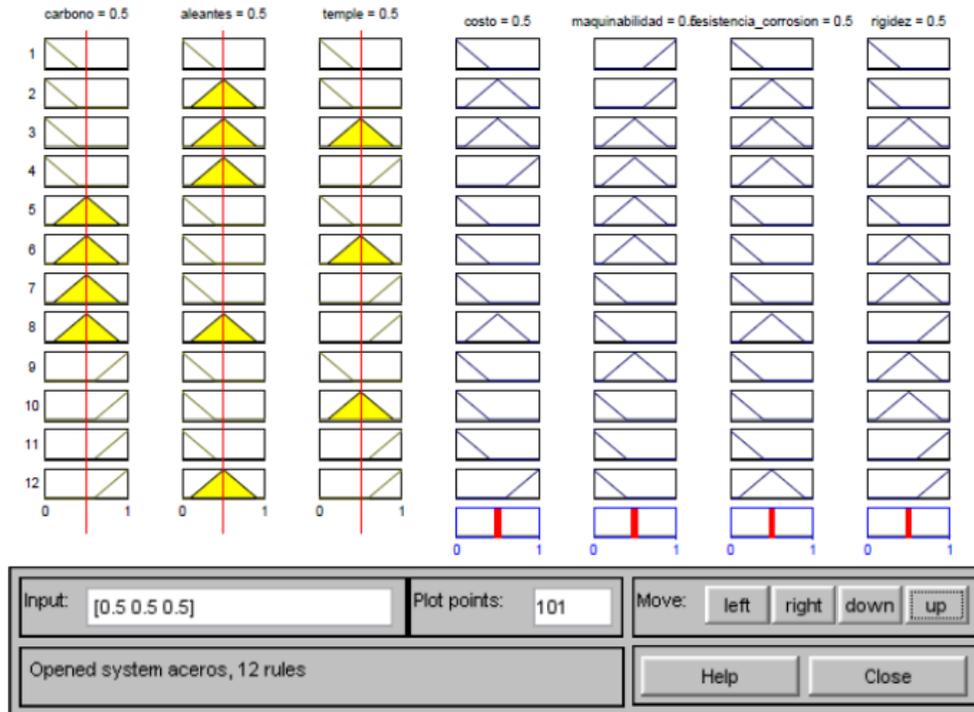


Figura 4. Interfaz gráfica para la evaluación de las funciones de pertenencia establecidas (color amarillo) y reglas SI-ENTONCES (con líneas azules), para el caso del acero para aceros.

A continuación se muestra la interfaz gráfica para obtener relaciones entre variables de entrada y de salida mediante un programa elaborado en Matlab®, que permite evaluar de forma continua la respuesta del sistema y así el diseñador tener una visión de todo el espacio de respuestas, a partir del cual puede enfocarse en los puntos de interés para la selección de materiales, empleando el motor de inferencia mostrado anteriormente.

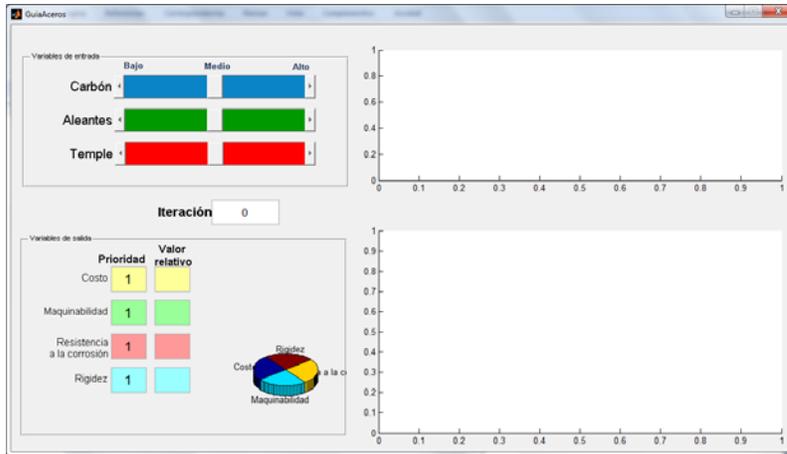


Figura 5. Interfaz gráfica del programa basado en lógica difusa, para selección de aceros, estado inicial. Las gráficas a la derecha mostrarán la evolución de cada valor seleccionado (parte superior) y las características correspondientes a cada iteración (parte inferior). Adicionalmente, la prioridad de cada característica (variable de salida) puede colocarse en las casillas asignadas para ese caso, que en este ejemplo se colocaron con valor 1.

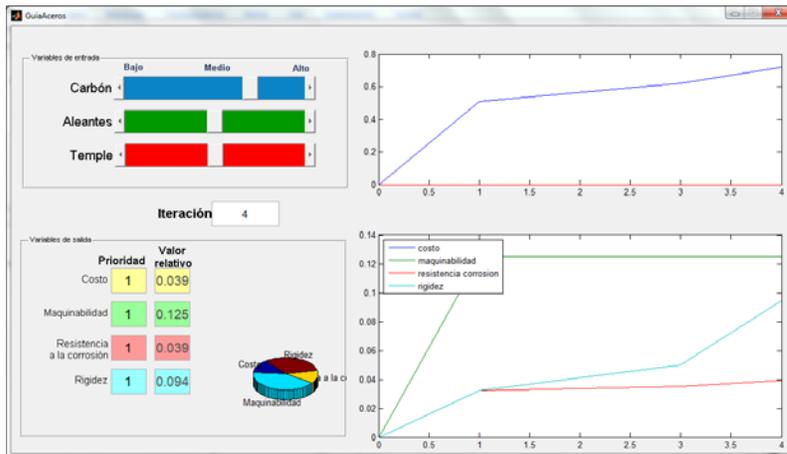


Figura 6. Interfaz gráfica del programa basado en lógica difusa, para selección de aceros, 4ª iteración considerando contenido de carbón alto, manteniendo el contenido de aleantes y proceso de temple medios.

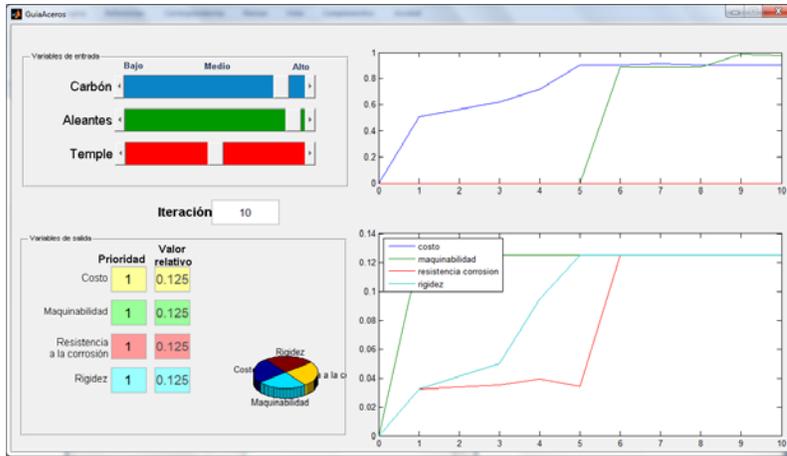


Figura 7. Interfaz gráfica del programa basado en lógica difusa, para selección de aceros, 10ª iteración considerando contenido de carbón y contenido de aleantes altos, el proceso de temple se mantiene medio.

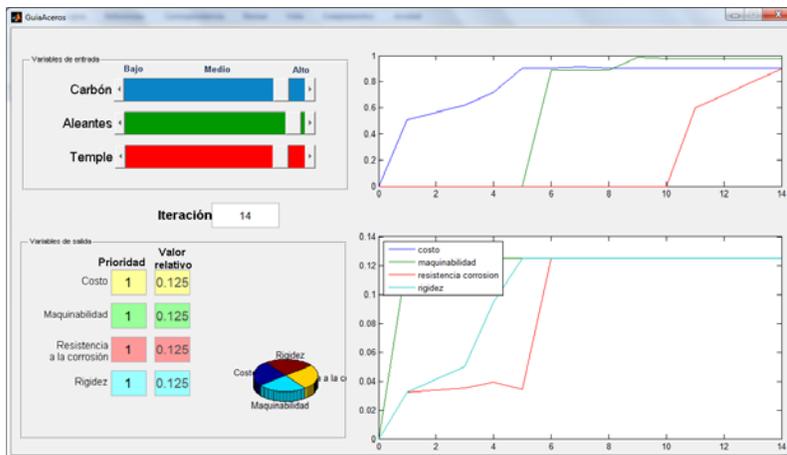


Figura 8. Interfaz gráfica del programa basado en lógica difusa, para selección de aceros, 14ª iteración considerando contenido de carbón, de aleantes y el proceso de temple altos.

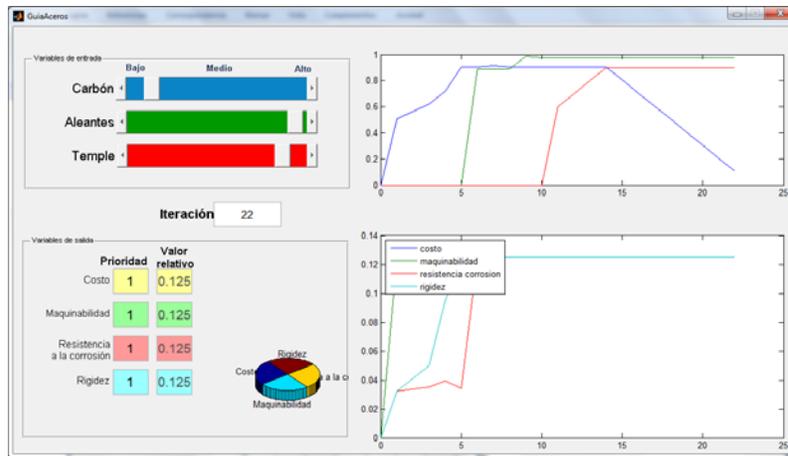


Figura 8. Interfaz gráfica del programa basado en lógica difusa, para selección de aceros, 22ª iteración considerando contenido de carbón bajo, el contenido de aleantes y el proceso de temple se mantienen altos.

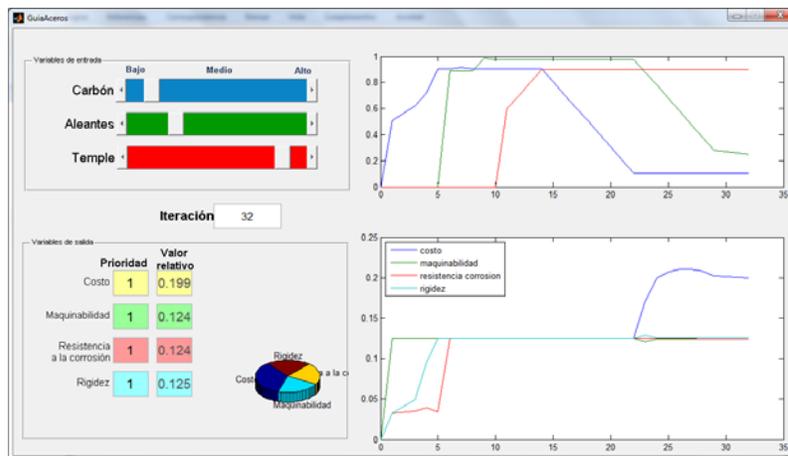


Figura 9. Interfaz gráfica del programa basado en lógica difusa, para selección de aceros, 32ª iteración considerando contenido de carbón bajo, el contenido de aleantes bajo-alto y el proceso de temple alto.

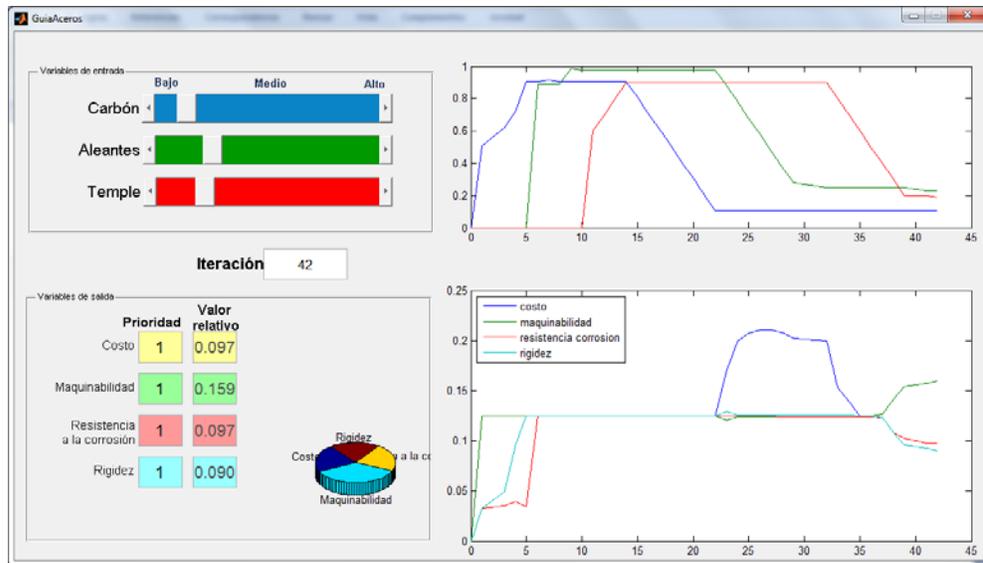


Figura 10. Interfaz gráfica del programa basado en lógica difusa, para selección de aceros, 42ª iteración considerando contenido de carbón, el de aleantes y el proceso de temple bajos.

Anexo 5. *Briefs* de diseño, para registrar el empleo de la lógica difusa, como apoyo para la selección de materiales en el diseño de productos.

1	Antecedentes: La necesidad que se presenta es diseñar el concepto de un contenedor para líquidos.	
Dirigido a: Deportistas de la Ciudad de México.	Objetivos: Determinar las etapas o procesos mentales realizados por el diseñador durante el diseño conceptual de un producto, mediante el análisis de sus verbalizaciones.	Mensaje: La idea que queremos dar al usuario es que puede disponer de un contenedor de líquidos que le permita rehidratarse durante sus prácticas deportivas.
Restricciones: El contenedor debe ser portátil e higiénico.		Criterios: Su costo de fabricación debe minimizarse. Preferentemente su comercialización se realizará en la Ciudad de México.
Entregables: Bocetos con la propuesta y la verbalización durante el proceso de diseño en formato de video digital.		Fecha límite: Una hora a partir del inicio del proceso de diseño.

2

Antecedentes:

La necesidad que se presenta es diseñar el concepto de una herramienta de supervivencia y campismo.

Dirigido a:

Campistas y exploradores en todo México.

Objetivos:

Determinar las etapas o procesos mentales realizados por el diseñador durante el diseño conceptual de un producto, mediante el análisis de sus verbalizaciones.

Mensaje:

La idea que queremos dar al campista experimentado o novato es que puede disponer de una herramienta multiusos y resistente para facilitar sus actividades al aire libre.

Restricciones:

Debe poder usarse a la intemperie.

Criterios:

Debe ser resistente para hacer pequeños trabajos de acondicionamiento en las actividades de campamento. Su comercialización será en todo el país.

Entregables:

Bocetos con la propuesta y la verbalización durante el proceso de diseño en formato de video digital.

Fecha límite:

Una hora a partir del inicio del proceso de diseño.

Referencias.

Artículos.

Ashby, M.F., "On the engineering properties of materials", *Acta Metallurgica*. 37(5), 1989, 1273-1293.

Ashby, M.F., Bréchet, Y.J.M., Cebon, D. y Salvo, L. "Selection strategies for materials and processes", *Materias & Design*, 25, 2004, 51-67.

Athanasopoulos, G., Riba, C.R. y Athanasopoulou, C., "A decision support system for coating selection based on fuzzy logic", *Expert Systems with Applications*, 36, 2009, 10848-10853.

Buchanan R., "Declaration by design". *Design Issues*. 2(1), 1985, 4-22.

Buchanan, R., "Wicked Problems in Design Thinking", *Design Issues*, Vol. 8, No. 2, 1992, pp. 5-21.

Boztepe, S., "The notion of Value and Design", *Illinois Institute of Technology, USA*, 2006, pp. 1-10.

Boztepe, S., "User Value: Competing Theories and Models", *International Journal of Design*, 1 (2), 2007, pp. 55-63.

Büyükoçkan, G. y Feyzioglu, O. "A fuzzy-logic-based decision-making approach for new product development", *International Journal of Production Economics*, 90, 2004, pp. 27-45

Deng, Y. M. y Edwards, K. L., "The role of materials identification and selection in engineering design", *Materials & Design*, 28, 2007, pp. 131-139.

Fisher, T. H., "What We Touch, Touches Us: Materials, Affects, and Affordances", *Design Issues*, Vol. 20, No. 4 2004, pp. 20-31

Gero, J. S.: *Prototypes: A new schema for knowledge-based design*, Design Computing Unit, Department of Architectural Science, University of Sydney, Sydney, Australia, 1987.

Gero, J. S. Constructive memory in design thinking, en G. Goldschmidt y W. Porter (eds), *Design Thinking Research Symposium: Design Representation*, MIT, Cambridge, 1999, pp. 1. 29-35.

Goldschmidt, G. y Smolkov, M., Variances in the impact of visual stimuli on design problem solving performance, *Design Studies*, 27, 2006, pp. 549-569.

Heskett, J., Past, Present, and Future in Design for Industry, *Design Issues*, Vol. 17, No. 1, 2001, pp. 18-26

Heskett, J., El diseño en la vida cotidiana, Editorial Gustavo Gili, España, 2002, p. 8.

Hsiao, S. y Liu, M.C., A morphing method for shape generation and image prediction in product design, *Design Studies*, 23, 2002, pp. 533-556.

Jee, D. y Kang, K., A method for optimal material selection aided with decision making theory, *Materials and Design*, 21, 2000, pp. 199-206.

Kan, Jeff W. T., Acquiring information from linkography in protocol studies of designing, *Design Studies*, 29, 2008, pp. 315-337

Karana E. et al., Material considerations in product design: A survey on crucial material aspects used by product designers, *Materials & Design*, 2008, 29, pp. 1081-1089.

Kotler, P. y Rath, A., Design: A Powerful but Neglected Strategic Tool, *Journal of Business Strategy*, 5, 1984, pp. 16-21

Krippendorf, K., Design Research, an Oxymoron?, *Departmental Papers*, Annenberg School for Communication University of Pennsylvania, 2007, pp. 1-12.

Ljungberg, L. Y., Materials selection and design for development of sustainable products, *Materials & Design*, 28, 2007, pp. 466-479.

Mendel, J.M., Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 83, No. 3, 1995, pp. 345-377.

Pérez, F. J., Verdager, N., Treserras, J., Recorrido histórico en la metodología del diseño, en el XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, INGERAF, Santander España, 2002, p. 4.

Sarfaraz, K.R. et al., A simplified fuzzy logic approach for materials selection in mechanical engineering design, *Materials & Design*, 2009, 30, pp. 687-697.

Shaninan A. y Savadogo O., A material selection model based on the concept of multiple attribute decision making, *Materials & Design*, 2006, 27, pp. 329-337.

Svihla, V., Collaboration as a dimension of design innovation, *CoDesign*, Vol. 6, No. 4, December 2010, pp. 245-262.

Suri, J. F., Informing Our Intuition, *Design Research for Radical Innovation*, Rotman Magazine, Winter 2008, pp. 54-58.

Zadeh, Lotfi A., Is there a need for fuzzy logic?, *Information Sciences*, 178, 2008, pp. 2751–2779.

Libros.

Alcaide Marzal, J., Diego Más, J.A., Artacho Ramírez, M.A., *Diseño de Producto: Métodos y Técnicas*, Alfaomega, España, 2004, p. 23.

Ashby, Mike y Johnson, Kara, *Materials and Design, The Art and Science of Material Selection in Product Design*, Butterworth Heinemann, 2002, Burlington, 124-131.

Müller, B. y Reinhardt, J., *Neural Networks*, Springer-Verlag, 1991, Berlin.

Cross, N., Christians, H. y Dorst, K. (Eds) *Analysing design activity*. Chichester: John Wiley&Sons, 1996.

Chávez A., Carlos, *Conceptos básicos para el conocimiento de los materiales en el Diseño Industrial*, UNAM, México, 2010.

Gille, B., *Introducción a la historia de las técnicas*. Crítica/Marcombo, Barcelona, 1999.

Graeber, D., *Toward an anthropological theory of value: The false coin of our dreams*, New York: Palgrave, 2001.

Irigoyen Castillo, J.F., *Filosofía y diseño: una aproximación epistemológica*, UAM, México, 1998, pp. 31-32.

Koning, J.L. Techniques and Applications of Fuzzy Theory to Material Selection in Mechanical Design Problems. En Leondes, C.T. *Fuzzy Theory Systems Techniques and Applications Vol. 2*, pp. 528-557, California, E.U.A., Academic Press, 1999.

Laurel, B., *Design Research, Methods and Perspectives*, The MIT Press, 2003, Massachusetts, E.U.A., p. 11.

Ireland, C., *Qualitative Methods: From Boring to Brilliant* en *Design Research, Methods and Perspectives*, The MIT Press, 2003, Massachusetts, E.U.A., p. 23-29.

Marchand, P. y Holland O. T., *Graphics and GUIs with MATLAB®*, Chapman & Hall/CRC, 2003, Washington D.C., E.U.A., p. 396-397.

Petroski, H., *Invention by design: how engineers get from thought to thing*, Harvard University Press, 1996, E.U.A., p. 30.

Ulrich, K.T. y Eppinger, S.D., *Product Design and Development*, McGraw-Hill, 2008, New York, 188-206.

Rodríguez Morales, Luís, *Para Una Teoría del Diseño*, Tilde Editores S.A. de C.V., México, 1989, p. 30.

Rowe, Peter G., *Design Thinking*, The Massachusetts Institute of Technology, 1987, p. 47.

Simon, H.A., *The sciences of the artificial*, MIT Press, Boston, 1996.

Sivanandam, S.N., Sumanthi, S. y Deepa, S.N., *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*, Springer, 2007, New York.

Tres, P. A., *Designing Plastic Parts for Assembly*, Hanser, 2006, MünchenAlemania, p. 1-39.

Fuentes de Internet.

Lefteri, Chris, The essential of materials [en línea], Design Council Disponible en: <http://www.designcouncil.org.uk/About-Design/Design-Techniques/Materials/> [fecha de consulta: 22 Sep. 2009].